

Ultrasonido pulmonar en la unidad de terapia intensiva. Fundamentos y aplicaciones clínicas

Raúl Carrillo-Esper, Rocío Brom-Valladares,** Luis Daniel Carrillo-Córdova,***
Jorge Raúl Carrillo-Córdova****

Resumen

El ultrasonido pulmonar es una nueva herramienta para el diagnóstico de enfermedades pleuropulmonares en el enfermo grave. Las imágenes que se obtienen resultan de la interacción del haz ultrasónico con la pleura, el parénquima pulmonar y la interfase aire-líquido; se clasifican en horizontales y verticales. Para su correcta identificación e interpretación se requiere una curva de aprendizaje. El ultrasonido pulmonar se ha posicionado como una excelente alternativa para evaluar el estado pulmonar de los enfermos internados en la unidad de terapia intensiva. Tiene una elevada sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de pneumotórax, síndrome alvéolo-intersticial y derrame pleural. Es uno de los procedimientos diagnósticos más promisorios en la medicina intensiva, por lo que seguramente se extenderá su práctica e indicaciones en los años venideros. El objetivo de este trabajo es dar a conocer a la comunidad médica los principios generales de este procedimiento y sus aplicaciones en el enfermo grave, conforme la experiencia en la Unidad de Terapia Intensiva de la Fundación Clínica Médica Sur.

Palabras clave: Ultrasonografía pulmonar, signo de la playa, pneumotórax, síndrome alvéolo-intersticial.

Summary

Pulmonary ultrasonography (PUS) is a new diagnostic tool for pleuropulmonary disease in the critically ill patient. Images obtained in this study result from the interaction between the ultrasound shaft with the pleura, the pulmonary parenchyma and the air/liquid interface. These images are classified horizontally and vertically. Their correct identification and interpretation require a learning curve. Currently, PUS is an excellent alternative to evaluate pulmonary condition of hospitalized patients in the intensive care unit (ICU). Sensitivity and specificity are high for pneumothorax, alveolar-interstitial syndrome and pleural effusion diagnosis. PUS carried out in the ICU is one of the most promising diagnostic procedures in intensive care medicine, and the practice and indications of this tool will surely be extended in the coming years. The objective of this report is to make known the general principles of PUS and its use in the critically ill patient, based on cases of hospitalized patients who were studied with PUS in the ICU of the Medica Sur Clinical Foundation in Mexico City.

Key words: Pulmonary ultrasonography, seashore sign, pneumothorax, alveolar-interstitial syndrome.

Introducción

La ultrasonografía es un procedimiento utilizado cotidianamente en la práctica clínica. En los servicios de urgencias, medicina intensiva y anestesiología es de gran utilidad para establecer el diagnóstico (ultrasonido FAST) y guiar procedimientos invasivos

como la colocación de catéteres centrales, drenaje de colecciones (abscesos, ascitis, derrame pleural, etcétera) y bloqueos regionales de plexos y nervios. Lo anterior ha posicionado a la ultrasonografía como una herramienta indispensable para el intensivista, ya que además cuenta con las ventajas de ser no invasiva, es costo-efectiva y se practica en la cabecera del enfermo.¹

La exploración ultrasonográfica del tórax se puede realizar con el enfermo sentado o en decúbito. En la mayoría de los estudios se recomienda un transductor linear de alta frecuencia (5 a 7.5 MHz) para evaluar la pared torácica, mientras que para la pleura y el pulmón se recomienda una frecuencia más baja, en el rango de 3.5 MHz. Recientemente se ha descrito que los nuevos ultrasonógrafos con transductores convexas de alta frecuencia (10 a 13 MHz) tienen mejor resolución.^{2,3}

La evaluación pulmonar por estudios de imagen en el enfermo grave se hace rutinariamente mediante radiografía simple de tórax y tomografía axial computarizada. Tradicionalmente el uso de la ultrasonografía pulmonar se limitó al drenaje de colecciones pleurales y, en ocasiones, a punciones dirigidas de tumaciones periféricas.

* Academia Mexicana de Cirugía, Academia Nacional de Medicina, presidente de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva, jefe de la Unidad de Terapia Intensiva, Fundación Clínica Médica Sur, México, D. F.

** Servicio de Radiología, Fundación Clínica Médica Sur, México, D. F.

*** Pregrado, Grupo NUCE, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Solicitud de sobretiros:

Raúl Carrillo-Esper.
Fundación Clínica Médica Sur, Puente de Piedra 150, Col. Toriello Guerra, Del. Tlalpan, 14050 México, D. F.
Tel: (55) 5424 7239. E-mail: seconcapcma@mail.medinet.net.mx

Recibido para publicación: 23-09-2008

Aceptado para publicación: 30-01-2009

Fundamentos de la ultrasonografía pulmonar

Con base en el principio ultrasonográfico de que el aire refleja las ondas sonoras, el ultrasonido pulmonar no se consideró al principio una herramienta diagnóstica válida. Fue hasta 1986 cuando Rantanen describió la utilidad del ultrasonido para la evaluación pleuropulmonar de caballos, lo que llevó a Werneck y colaboradores a introducirlo a la práctica clínica. Describieron las imágenes pleuropulmonares de ocho enfermos con pneumotórax, que compararon con las de 20 sujetos sanos; concluyeron que en los pacientes con pneumotórax desaparecía la movilidad pleural normal.^{4,5}

Imagen ultrasonográfica pulmonar normal

Es el resultado de la interacción del aire y tejido pulmonar intersticial con el haz ultrasónico. Se observan artefactos de diferente ecogenicidad e intensidad en la escala de grises, tanto en el tiempo real como en el modo M (*motion time*), los cuales son horizontales y verticales, cuya identificación adecuada es fundamental para la correcta interpretación de los elementos anatomoestructurales normales.⁶

El primer paso para la evaluación ultrasonográfica pulmonar es delimitar la interfase entre la pared torácica y el pulmón mediante la identificación de la línea pleural. Para ello se localizan las costillas, las cuales en el tiempo real emiten una imagen hiperecoica y sombra acústica. La línea pleural es una imagen hiperecoica, bien delimitada entre dos costillas, y representa la pleura parietal y visceral. En condiciones normales, la línea pleural tiene un movimiento ondulado que sigue a los movimientos respiratorios (*gliding sin*) y representa el deslizamiento de la pleura visceral sobre la parietal. Los tres elementos clave para identificar la línea pleural son línea hiperecoica por debajo de las costillas, movimiento ondulado que sigue la respiración, y presencia de artefactos horizontales y verticales⁷ por debajo, que dan diferentes imágenes.

Artefactos horizontales

El principal artefacto horizontal son las líneas A, las cuales se caracterizan por ser horizontales cortas, hiperecoicas, de aparición cíclica, con un patrón semejante a la distancia del transductor a la línea pleural; representan la reverberación del sonido sobre ésta (figura 1).

Artefactos verticales

Los artefactos verticales son las líneas B, Z y E. Las líneas B, mejor conocidas por su morfología como “colas de cometa” (*comet tail*), se generan por la resonancia ultrasónica originada en una estructura rígida rodeada por aire, como los septos interal-

veolares. Las líneas B tienen las siguientes características ultrasonográficas: verticales y bien definidas, triangulares, con vértices que se origina en la linea pleural y base, que se dirigen al parénquima pulmonar; se extienden hasta el límite de la imagen (longitud de hasta 17 cm); atraviesan y borran las líneas A; tienen un movimiento sincrónico con el desplazamiento pleural. En condiciones normales, las “colas de cometa” son artefactos únicos o múltiples, hasta en número de tres, con una distancia de 7 mm entre cada una. En ocasiones pueden observarse líneas B de menos de 1 cm de longitud, las cuales no tienen ningún significado. La presencia simultánea de múltiples líneas B, con distancia entre cada una de ellas de 3 a 5 mm, se denomina “cuetes” (*rockets*). Se identifican con más claridad en la región anterolateral y se asocian a enfermedad pulmonar intersticial o congestión (equivalentes a las líneas B de Kerley)^{8,9} (figura 1).

Las líneas Z son artefactos verticales que semejan a las líneas B y no tienen significado patológico; en ocasiones se pueden observar en pneumotórax. Tienen las siguientes características: se originan en la línea pleural y tienen profundidad de 2 a 5 cm; no borran las líneas A; son cortas en el sentido que no se extienden hasta límite de la imagen; no siguen el movimiento pleural (figura 1).

Las líneas E (E por enfisema) son secundarias a enfisema subcutáneo. Se caracterizan por ser líneas verticales que adoptan la morfología de haz de láser (imagen hiperecoica fina), se originan por arriba de la línea pleural y su punto de partida es la pared torácica.

Signo de la playa

El movimiento pulmonar se observa claramente en el modo M (*motion time*), en el que se aprecia la diferencia entre el patrón que semeja ondas localizado por arriba de la línea pleural (continua, ondulante e hiperecoica) y el patrón granular (por debajo),

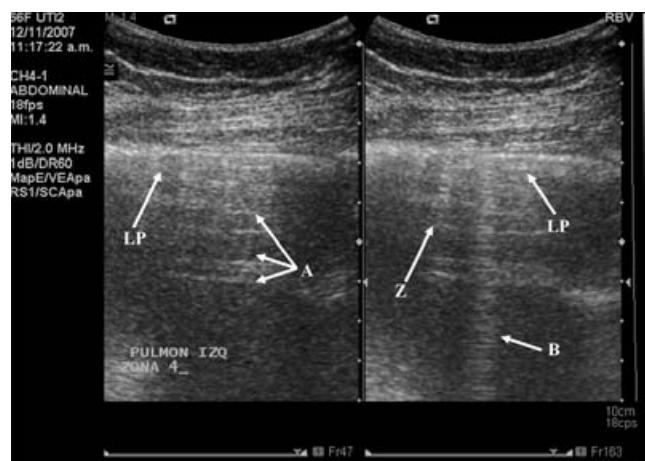


Figura 1. Ultrasonido pulmonar donde se observa línea pleural (LP), línea A (A), línea Z (Z), línea B (B).

semejante a la arena, de ahí el término (*seashore*). Esta imagen es de gran utilidad para descartar varias entidades, como se describirá en la segunda parte de este trabajo¹⁰ (figura 2a).

Patrones ultrasonográficos pulmonares en el enfermo grave

Los patrones ultrasonográficos descritos con más frecuencia en la bibliografía son los que se presentan en pneumotórax, síndrome alvéolo-intersticial o derrame pleural.

Pneumotórax

La prevalencia de pneumotórax en una unidad de terapia intensiva llega a ser de 6 % y por lo general es secundario a barotrauma e hiperinflación dinámica. La exploración clínica y la radiografía simple de tórax son las modalidades utilizadas universalmente para su diagnóstico, pero lo infraestiman hasta en 30 a 40 % de los casos, sobre todo en situaciones de urgencia y en pacientes politraumatizados. La mayoría de los enfermos no diagnosticados desarrollan pneumotórax a tensión, principalmente aquellos en ventilación mecánica. El concepto de pneumotórax oculto describe los casos de pneumotórax sin manifestaciones clínicas ni radiográficas, y para los cuales la tomografía axial computarizada de tórax es el estándar de oro para el diagnóstico, pero ésta tiene inconvenientes como la necesidad de traslado del enfermo (por lo general multiinvadido, inestable, dependiente de vasopresores e inotrópicos y ventilación mecánica) al servicio de imagenología y los costos, entre otros, lo que ha posicionado a la ultrasonografía pulmonar como una excelente alternativa diagnóstica en el enfermo grave.¹¹⁻¹⁵

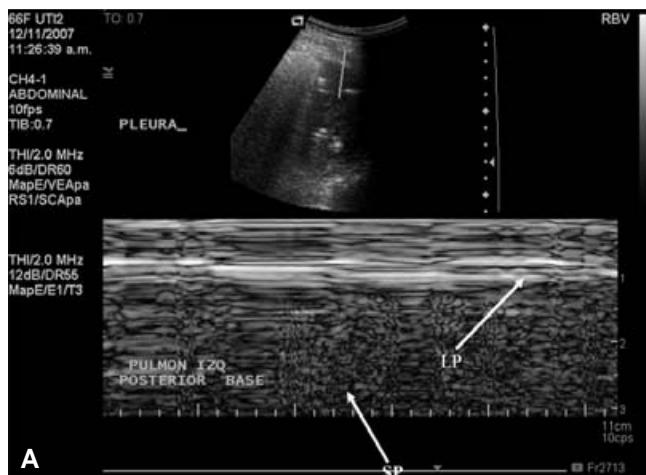
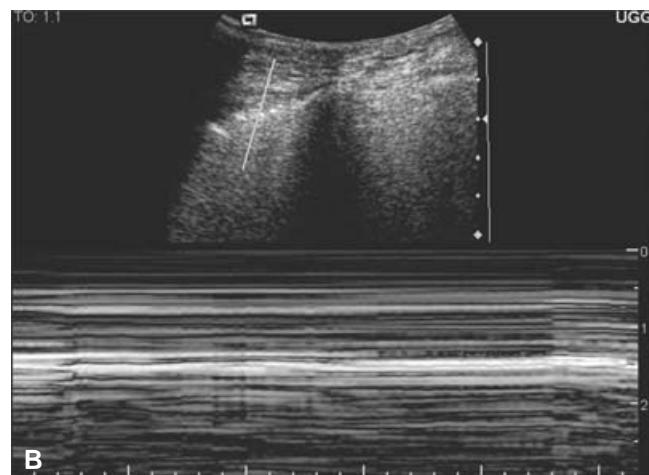


Figura 2. A) Ultrasonido pulmonar en modo M donde se aprecia línea pleural (LP) y “signo de la playa” (SP); nótese el patrón ultrasonográfico granular. B) “Signo de la estratosfera”. En la imagen superior se observa pérdida de la línea pleural y ausencia de líneas B. La imagen inferior simultánea en modo M muestra exclusivamente líneas horizontales (características del “signo de la estratosfera”), pérdida de la línea pleural y del “signo de la playa”.

Las imágenes ultrasonográficas del pneumotórax son las siguientes:^{16,17}

- Pérdida del movimiento ondulado (*lung sliding*) de la línea pleural, relacionada con el no desplazamiento de las dos hojas pleurales por la presencia de aire. Este signo dinámico se acentúa en el modo M, en el cual la pérdida de la dinámica pleural y el aire dan una imagen de líneas horizontales superpuestas a la que se denomina “signo de la estratosfera”. La pérdida del movimiento ondulado pleural no es patognomónico de pneumotórax, tiene una especificidad de 96.5 %. Su ausencia, además del pneumotórax, se ha descrito en fibrosis pleural, paquipleuritis, condensación pulmonar y síndrome de insuficiencia respiratoria del adulto, consideraciones que se deberán tomar en cuenta al practicar el estudio ultrasonográfico (figura 2b).¹⁸⁻²⁰
- Otro signo dinámico de pneumotórax es la modificación del patrón ultrasonográfico asociado a los movimientos respiratorios (inspiración-expiración), el cual está relacionado al desplazamiento pleural y del parénquima, y que se presenta preferentemente cuando el pneumotórax es anterior y no está a tensión. La imagen que se observa es un patrón cambiante de desplazamiento pleural, líneas A y líneas B con “signo de la playa” en el modo M durante la inspiración debido a pérdida del movimiento ondulado, de las líneas B y del “signo de la playa”, el cual es sustituido por el “signo de la estratosfera” durante la expiración; a esta imagen se le denomina “signo del punto pulmonar” (*lung point*) (figura 3).^{21,22}
- Las líneas A son parte del patrón ultrasonográfico normal, pero también se pueden observar en el pneumotórax. Las líneas A se generan por la barrera estática que impone el aire al haz ultrasónico. La presencia de líneas A en pneumotórax se denomina “signo de la línea A”.²²



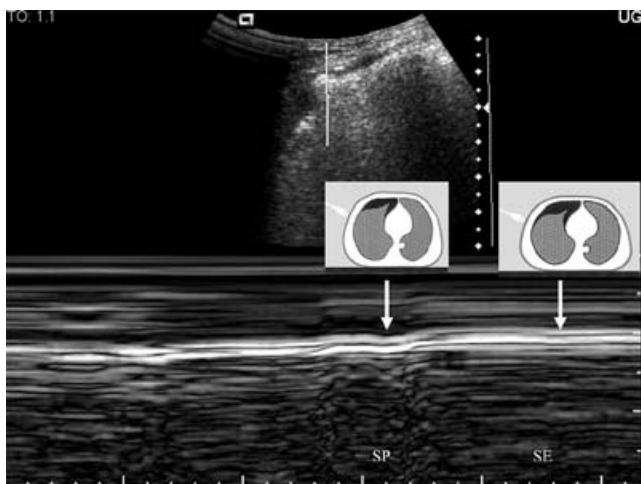


Figura 3. “Signo del punto pulmonar”, caracterizado por alternancia en el modo M del “signo de la playa” (SP) durante la inspiración y el “signo de la estratosfera” (SE) durante la espiración, ver recuadro. Línea pleural (flechas).

- Otro signo ultrasonográfico que se presenta en pneumotórax son las líneas O, (líneas no A/B) que se caracterizan por la presencia de línea pleural que no tiene movimiento y ausencia de líneas A y B. En estos casos, el movimiento del transductor puede mostrar algunas líneas A.²²
- En ocasiones se pueden presentar las líneas Z, que tienen las siguientes características: se originan de la línea pleural, son verticales, no borran las líneas A, son bien definidas, tienen una longitud de 2 a 5 cm, son independientes del desplazamiento pleural.
- La presencia de líneas B (colas de cometa) descarta el diagnóstico de pneumotórax, debido a que éste condiciona pérdida de la impedancia acústica entre el aire y el agua de los septos interlobulares subpleurales. Por este motivo, ante la sospecha de pneumotórax el operador deberá ser muy cauteloso en su detección.²³

La ultrasonografía pulmonar tiene una sensibilidad de 100 %, especificidad de 91 % y valor predictivo positivo de 87 % para el diagnóstico de pneumotórax. El signo de la línea A tiene una sensibilidad y valor predictivo negativo de 100 %, especificidad de 60 % y valor predictivo positivo de 42 %. El “signo del punto pulmonar” tiene una sensibilidad de 66 % con especificidad de 100 %. La ausencia de líneas B tiene una sensibilidad y especificidad de 97 % para el diagnóstico de pneumotórax. A diferencia de estos resultados, la radiografía simple de tórax obtenida en la cama del enfermo tiene una sensibilidad de 36 %. La ultrasonografía pulmonar se está posicionando como una excelente alternativa para el diagnóstico de pneumotórax en el enfermo grave atendido en los servicios de urgencias, incluso durante el traslado de los enfermos, debido a que identifica pneumotórax pequeños e incipientes

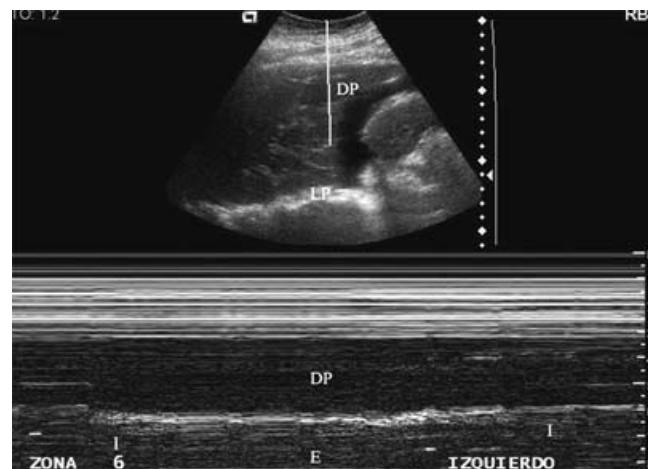


Figura 4. Imagen ultrasonográfica característica de derrame pleural. Imagen superior: derrame pleural (DP), imagen hipoeocoica que desplaza la línea pleural (LP) y colapsa el parénquima pulmonar. Imagen inferior: “signo de la cortina”, donde se observa en modo M desplazamiento pleural con los movimientos respiratorios condicionado por el derrame pleural (DP). I = inspiración, E = espiración.

que no se pueden diagnosticar con la exploración clínica ni la placa simple de tórax. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que los pneumotórax apicales, mediastinales y posteriores son más difíciles de visualizar por su localización anatómica.^{24,25}

Derrame pleural

La imagen ultrasonográfica del derrame pleural se caracteriza por pérdida del movimiento pleural, nivel hidroáereo en el que característicamente se presenta una imagen anecoica que delimita el pulmón colapsado por el efecto del líquido acumulado en la cavidad pleural, el cual sigue el efecto de la gravedad y de los movimientos respiratorios y que determina la imagen del “signo de la cortina” (*curtain sign*), que se presenta tanto en el tiempo real como en el modo M (figura 4).²⁶

Síndrome alvéolo-intersticial

En la medicina intensiva se presenta un gran número de entidades caracterizadas por involucro alvéolo-intersticial, dentro de las que destacan el síndrome de insuficiencia respiratoria del adulto (SIRA), neumonías, edema pulmonar y enfermedades intersticiales. El patrón ultrasonográfico de éstas se encuentra bien definido y se denomina en términos generales “síndrome alvéolo-intersticial”, caracterizado por:^{27,28}

- Pérdida del movimiento pleural.
- Pérdida de la línea pleural en condensación pulmonar.
- La imagen ultrasonográfica particular es la presencia de “cuetes”, es decir, de múltiples líneas B, por lo general más

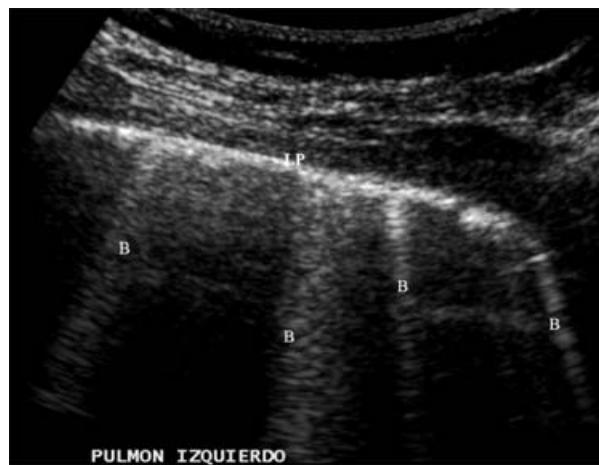


Figura 5. Imagen ultrasonográfica de compromiso alvéolo-intersticial. Nótese la abundancia de líneas B (B) que se originan de la línea pleural (LP) y borran las líneas A.

de tres por campo. La distancia entre cada una de éstas es de 5 a 7 mm. Cuando son muy delgadas se les denomina “líneas láser” (figura 5).

- Las líneas B y el patrón que adoptan se deben a la marcada diferencia en la impedancia acústica entre el aire y el agua por el engrosamiento de los septos interlobulares por edema o fibrosis. El número de líneas B es directamente proporcional al involucro alvéolo-intersticial.
- Las colas de cometa son más frecuentes cuando la lesión intersticial es por fibrosis.

Síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA)

La evaluación en la unidad de terapia intensiva de los enfermos con SIRA habitualmente es con radiografía de tórax, la cual tiene grandes limitaciones para la valoración integral del involucro pulmonar, por lo que la tomografía axial computarizada se ha posicionado como el estándar de oro para este efecto, para determinar la proporción de colapso o condensación alveolar en relación al pulmón sano y la efectividad de las maniobras de reclutamiento alveolar. Su principal limitación en el paciente grave es la necesidad de traslado al servicio de imagenología, lo que limita su aplicación en la práctica clínica cotidiana.²⁹⁻³²

La ultrasonografía pulmonar se ha posicionado como una excelente herramienta para el seguimiento de los enfermos con SIRA, ya que permite la identificación de consolidación y condensación alveolar, involucro intersticial y derrame pleural, por lo que es recomendable su inclusión en la práctica cotidiana, como parte de la valoración y seguimiento integral de estos enfermos.³³

En los enfermos con SIRA, la imagen ultrasonográfica se caracteriza por un patrón de síndrome alvéolo-intersticial, colapso y derrame pleural (figura 6). Por otra parte, podría ser de gran utilidad para la evaluación del porcentaje de pulmón colap-



Figura 6. Imagen ultrasonográfica del síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA) donde se observan múltiples líneas B (B), que emergen de la línea pleural (LP), derrame pleural (DP) y colapso pulmonar (CP).

sado en las regiones basales y dependientes, las más afectadas en el SIRA, usando la vía transesofágica, además de evaluar la efectividad de las maniobras de reclutamiento alveolar a la cabecera del enfermo³⁴

Conclusiones

Conforme nuestra experiencia y la evidencia científica actual, podemos afirmar que la ultrasonografía pulmonar en la unidad de terapia intensiva es un procedimiento no invasivo, con elevada sensibilidad, especificidad y valor predictivo, costo-efectivo, accesible en cualquier hospital y que requiere una sencilla curva de aprendizaje, por lo que de seguro se posicionará como una excelente herramienta para el abordaje diagnóstico integral y el seguimiento cotidiano del enfermo grave.

Referencias

1. Scalea TM, Rodríguez A, Chic WC. Consensus Conference Committee. Focused assessment with sonography for trauma (FAST): results from an international consensus conference. *J Trauma* 1999;46:466-480.
2. Dubs-Kunz B. Sonography of the chest wall. *Eur J Ultrasound* 1996;3:103-111.
3. Mathis G. Thorax sonography. I. Chest wall and pleura. *Ultrasound Med Biol* 1997;23:1131-1139.
4. Rantanen NW. Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am* 1986;2:49-66.
5. Wernecke K, Galanski M, Peters PE, Hansen J. Pneumothorax: evaluation by ultrasound preliminary results. *J Thorac Imag* 1987;2:76-78.
6. Lichtenstein D. General ultrasound in the critically ill. 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 2005 pp. 55-75.

7. Soldati G, Testa A, Silva F, Carbone L, Portale G, Silveri N. Chest ultrasonography in lung contusion. *Chest* 2006;130:533-538.
8. Soldati G. Lung sonography: artifact, movement or echotexture. *G Ital Ecografia* 2001;4:329-338.
9. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A, Barre O. The comet-tail artifact: an ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;156:1640-1646.
10. Lichtenstein DA, Meziere G. Ultrasound diagnosis of an acute dyspnea. *Crit Care* 2003;7:93-97.
11. Kollef MH. Risk factors for the misdiagnosis of pneumothorax in the intensive care unit. *Crit Care Med* 1991;19(7):906-910.
12. Chiles C, Ravin CE. Radiographic recognition of pneumothorax in the intensive care unit. *Crit Care Med* 1986;14:677-680.
13. Hill SL, Edmisten T, Holtzman G. The occult pneumothorax: an increasing diagnostic entity in trauma. *Am Surg* 1999;65:254:258.
14. Gobien RP, Reines HD, Schabel SI. Localized tension pneumothorax: unrecognized form of barotrauma in ARDS. *Radiology* 1982;142:15-19.
15. Wernecke K, Galanski M, Peters PE, Hansen J. Pneumothorax: evaluation by ultrasound. Preliminary results. *J Thorac Imaging* 1987;2:79-82.
16. Rowan KR, Kirkpatrick AW, Liu D. Traumatic pneumothorax. Detection with thoracic US: correlation with chest radiography and CT. *Radiology* 2002;225:210-214.
17. Kirkpatrick AW, Ng AK, Dulchavsky SA. Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: confirmation by CT. *J Trauma* 2001;50:750-752.
18. Zhang M, Liu HZ, Yang XJ, Gan JX, Xu WS, You DX, et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care* 2006;10:112-117.
19. Lichtenstein DA, Meziere G, Lascols N, Biderman P, Courret JP, Gepner A, et al. Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax. *Crit Care Med* 2005;33:1231-1237.
20. Lichtenstein DA, Menu Y. A Bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest* 1995;108:1345-1348.
21. Targhetta R, Bourgeois JM, Balmes P. Ultrasonographic approach to diagnosing hydropneumothorax. *Chest* 1992;101:931-934.
22. Lichtenstein DA, Meziere G, Biderman P, Gepner A. The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000;26:1434-1440.
23. Lichtenstein DA, Meziere G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med* 1999;25:383-388.
24. Tocino IM, Miller MH, Fairfax WR. Distribution of pneumothorax in the supine and semirecumbent critically ill adult. *AJR* 1985;144:901-905.
25. Lichtenstein DA, Courret JP. Feasibility of ultrasound in the helicopter. *Intensive Care Med* 1998;24:1119.
26. Yang PC, Luh DB, Chang CJ, Yu SH, Kuo D. Ultrasonographic evaluation of pulmonary consolidation. *Am Rev Respir Dis* 1992;146:757-762.
27. Targhetta R, Chavagneux R, Bourgeois JM, Dauzat M, Balmes P, Pourcelot L. Sonographic approach to diagnosing pulmonary consolidation. *J Ultrasound Med* 1992;11:667-672.
28. Wheeler AP, Carroll FE, Bernard GR. Radiographic issues in adult respiratory distress syndrome. *New Horiz* 1993;1:471-477.
29. Puybasset L, Cluzel P, Gusman P, Grenier P, Preteux F, Rouby JJ. CT Scan ARDS Study Group: Regional distribution of gas and tissue in acute respiratory distress syndrome: consequences on lung morphology. *Intensive Care Med* 2000;26:857-869.
30. Rouby JJ, Puybasset L, Nieszkowska A, Lu Q. Acute respiratory distress syndrome: lessons from computed tomography of the whole lung. *Crit Care Med* 2003;31:285-295.
31. Henschke CI, Yanklevitz DF, Wand A, Davis SD, Shiao M. Accuracy and efficacy of chest radiography in the intensive care unit. *Radiol Clin North Am* 1996;34:21-31.
32. Lichtenstein DA, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004;100:9-15.
33. Tsubo T, Sakai I, Suzuki A, Okawa H, Ishihara H, Matsuki A. Density detection in dependent left lung region using transesophageal echocardiography. *Anesthesiology* 2001;94:793-798.
34. Puybasset L, Cluzel P, Chao N, Slutsky AS, Coriat P, Rouby JJ. A computed tomography scan assessment of regional lung volume in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158:1644-1655.